

شیمی اکتوژن

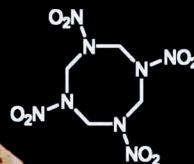
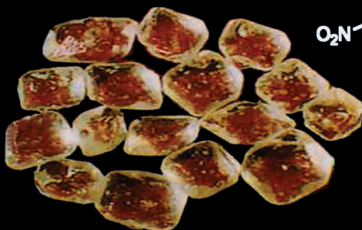
(خواص، کاربردها و روش های تهیه)

CHEMISTRY of **OCTOGEN** (HMX)

تألیف

یداله بیات - حسین دهقانی - محمد علی ذرعی

خسرو بابایی - ویدا زینالی



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اگر این اثر را اجری باشد

تقدیم است

به روح شهیدان گل کون کفن میهن اسلامی

که شهاب وار از شب زمینیان عبور کردند.

شیمی اکتوژن

(خواص، کاربردها و روش های تهیه)

مؤلفان: یداله بیات، حسین دهقانی، محمد علی ذرعی،
خسرو بابایی و ویدا زینالی

ویراستار علمی: فاطمه ابریشمی

عنوان و نام پدیدآور: شیمی اکتوزن (خواص، کاربردها و روش های تهیه) / مولفان یداله بیات ... [و دیگران]؛ ویراستار علمی فاطمه ابریشمی.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۲. مشخصات ظاهری: د، ۳۸۱ ص.
وضعیت فهرست نویسی: فیپا یادداشت: مولفان یداله بیات، حسین دهقانی، محمدعلی ذرعی، خسرو بابایی، ویدا زینالی.
موضوع: مواد منفجره موضوع: مواد منفجره نظامی
شناسه افزوده: بیات، یداله، ۱۳۴۹ - شناسه افزوده: ابریشمی، فاطمه، ۱۳۴۸ - ویراستار
شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی مالک اشتر
رده بندی کنگره: ۱۳۹۲ ۹ش/TP۲۷۰ رده بندی دیویی: ۶۶۲/۲ کتابشناسی ملی: ۳۴۰۹۱۲۲



انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر



دانشگاه صنعتی مالک اشتر

مجتمع دانشگاهی شیمی مهندسی شیمی

عنوان کتاب: شیمی اکتوزن (خواص، کاربردها و روش های تهیه)
مولف: یداله بیات، حسین دهقانی، محمد علی ذرعی،
خسرو بابایی و ویدا زینالی
ناشر: انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
طرح روی جلد: حسین دهقانی
لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
صفحه آرای رایانه ای: آسیه عسگری خیرآبادی
ویراستار ادبی: زری جاویدی آلسعدی
شمارگان: ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ: اول، زمستان ۹۲
قیمت: ۱۹۲.۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-5665-74-1

شابک: ۹۷۸ - ۶۰۰ - ۵۶۶۵ - ۷۴ - ۱

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.
آدرس: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مرکز فناوری اطلاعات و مدیریت دانش،
مدیریت انتشارات. تلفن: ۲۲۹۳۲۸۹۱

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	أ
فصل اول: معرفی و ساختار اکتوژن.....	۱
۱-۱- مبانی مواد منفجره.....	۱
۱-۱-۱- مفهوم انفجار.....	۱
۱-۱-۲- ماده منفجره.....	۲
۱-۲-۱- طبقه بندی مواد منفجره.....	۴
۲-۱- متداول ترین مواد منفجره.....	۹
۲-۱-۱- TNT.....	۹
۲-۲-۱- RDX.....	۱۰
۲-۳-۱- CL-20.....	۱۳
۲-۴-۱- HMX.....	۱۴
۲-۴-۱- معرفی.....	۱۴
۲-۴-۲- تاریخچه اکتوژن.....	۱۶
۲-۴-۳- انواع درجه بندی HMX.....	۱۸
۳-۱- خواص HMX.....	۱۹
۳-۱-۱- سایر ویژگی های شیمیایی و فیزیکی.....	۲۴
۳-۱-۲- ویژگی های ایمنی.....	۲۴
۳-۱-۳- ویژگی های عملکردی.....	۲۷
۳-۱-۴- تغییر فاز HMX.....	۲۸
۳-۱-۵- ایمنی HMX.....	۲۹
فصل دوم: روش های تولید اکتوژن.....	۳۳

۳۳.....	۱-۲- مقدمه.....
۳۳.....	۲-۲- تولید HMX به روش بکمن.....
۳۳.....	۱-۲-۲- سازوکار پیشنهادی روش بکمن.....
۴۰.....	۳-۲- تولید HMX با روش مشتق‌های حدواسطی.....
۴۰.....	۱-۳-۲- معرفی ماده DAPT.....
۴۳.....	۱-۱-۳-۲- روش‌های سنتز DAPT.....
۴۶.....	۲-۳-۲- معرفی ماده TNT.....
۵۰.....	۱-۲-۳-۲- روش سنتز TAT.....
۵۰.....	۲-۲-۳-۲- نیترودار کردن TAT به HMX.....
۵۰.....	۳-۲-۳-۲- با استفاده از مخلوط نیتریک‌اسید و فسفر پنتوکسید.....
۵۲.....	۳-۳-۲- معرفی ماده DADN.....
۵۵.....	۱-۳-۳-۲- روش سنتز DADN.....
۵۶.....	۲-۳-۳-۲- نیترودار کردن DADN به HMX.....
۵۹.....	۴-۳-۲- معرفی ماده‌ی DANNO.....
۶۰.....	۱-۴-۳-۲- روش سنتز DANNO.....
۶۰.....	۲-۴-۳-۲- نیترودار کردن DANNO به HMX.....
۶۱.....	۴-۲- تولید HMX به روش مستقیم و با استفاده از پارافرمالدئید و
۶۳.....	۱-۴-۲- روش‌های تولید.....
۶۴.....	۵-۲- روش‌های نوین در تولید HMX.....
۶۴.....	۱-۵-۲- نیترولیز DPT با دی نیتروژن پنتوکسید (N_2O_5).....
۶۷.....	۲-۵-۲- نیترولیز هگزامین با استفاده از کاتالیست
۶۹.....	۳-۵-۲- نیترولیز DAPT به HMX در محیط مایعات یونی و
۷۵.....	فصل سوم: تبلور اکتوزن.....
۷۵.....	۱-۳- مقدمه.....

۷۶.....	۲-۳- فوق اشباع‌شدگی.....
۷۶.....	۱-۲-۳- تئوری‌های فوق اشباع‌شدگی.....
۷۸.....	۳-۳- کیفیت محصول‌ها.....
۷۹.....	۴-۳- روش‌های تبلور.....
۷۹.....	۵-۳- مراحل تبلور.....
۸۰.....	۶-۳- ترمودینامیک تبلور.....
۸۳.....	۱-۶-۳- ترمودینامیک رشد بلور.....
۸۴.....	۱-۶-۳-۱- مدل‌های رشد بلور.....
۸۶.....	۷-۳- سینتیک تبلور.....
۸۷.....	۱-۷-۳- هسته‌زایی.....
۸۸.....	۱-۷-۳-۱- سرعت هسته‌زایی.....
۸۹.....	۲-۷-۳- سینتیک رشد بلور.....
۹۰.....	۸-۳- نقص‌های بلوری.....
۹۱.....	۱-۸-۳- نقص‌های الکترونی.....
۹۱.....	۲-۸-۳- ناخالصی‌های شیمیایی.....
۹۱.....	۳-۸-۳- نقص‌های بلوری.....
۹۲.....	۴-۸-۳- آشکارسازی نقص‌های بلوری.....
۹۴.....	۹-۳- کیک شدن بلورها.....
۹۵.....	۱-۹-۳- عوامل جلوگیری از کیک شدن.....
۹۸.....	۱۰-۳- معایب روش‌های تبلور.....
۹۸.....	۱۱-۳- تبلور مواد پرانرژی.....
۹۹.....	۱-۱۱-۳- کیفیت محصول در مواد پرانرژی.....
۹۹.....	۱-۱۱-۳-۱- مشکلات فرایندی در کنترل کیفیت محصول پرانرژی.....
۱۰۱.....	۲-۱۱-۳- کیفیت محصول پرانرژی.....

۱۰۶.....	۱۲-۳- تبلور و دانه‌بندی HMX.....
۱۰۸.....	۱-۱۲-۳- پلی‌مورفیسم.....
۱۰۹.....	۲-۱۲-۳- مرحله شروع تشکیل بلور.....
۱۱۰.....	۳-۱۲-۳- روش‌های متداول تبلور اکتوژن‌ها.....
۱۱۱.....	۴-۱۲-۳- حلالیت HMX.....
۱۱۲.....	۵-۱۲-۳- مروری بر تکنیک‌های به‌کار گرفته شده برای تبلور HMX.....
۱۱۲.....	۱-۵-۱۲-۳- جداسازی و خالص‌سازی HMX با حلال DMF.....
۱۱۳.....	۲-۵-۱۲-۳- روشی برای تبلور HMX و RDX در حلال ۷- بوتیرولاکتون.....
۱۱۳.....	۳-۵-۱۲-۳- تبلور HMX به روش حلال - ضدحلال - تبخیری.....
۱۱۳.....	۶-۱۲-۳- تأثیر ناخالصی بر تبلور HMX.....
۱۱۷.....	۷-۱۲-۳- کنترل گستره‌ی اندازه‌ی ذرات و متوسط دانه‌بندی محصول.....
۱۲۹.....	فصل چهارم: روش‌های تهیه اکتوژن بسیار ریز.....
۱۲۹.....	۱-۴- مقدمه.....
۱۳۰.....	۲-۴- HMX- β میکروسایز.....
۱۳۱.....	۳-۴- تولید مواد بسیار ریز با استفاده از روش‌های مکانیکی.....
۱۳۳.....	۱-۳-۴- آسیاب جتی (فواره‌ای).....
۱۳۵.....	۲-۳-۴- آسیاب توپی همزن.....
۱۳۶.....	۴-۴- تولید مواد بسیار ریز با استفاده از سیال‌های فوق بحرانی.....
۱۳۹.....	۵-۴- خشک‌کن پاششی.....
۱۴۳.....	۶-۴- تولید مواد منفجره‌ی بسیار ریز به روش تبلور حلال - ضدحلال.....
۱۴۵.....	۷-۴- نانو مواد.....
۱۴۵.....	۱-۷-۴- مقدمه.....
۱۴۷.....	۲-۷-۴- ایمنی در تولید نانوذرات.....
۱۴۷.....	۳-۷-۴- در معرض آلودگی قرار گرفتن.....

۱۴۸.....	۴-۷-۴- کنترل نانوذرات.....
۱۵۰.....	۴-۷-۵- شمای اولیه برای ارزیابی خطر ناشی از نانوذرات.....
۱۵۱.....	۴-۷-۶- دانه‌بندی و کاهش اندازه‌ی مواد منفجره.....
۱۵۳.....	۴-۷-۶-۱- روش‌های شیمیایی.....
۱۶۱.....	۴-۷-۶-۲- استفاده از مخلوط کن T.....
۱۶۳.....	۴-۷-۶-۳- استفاده از امواج فراصوت برای کاهش اندازه‌ی ذرات ...
۱۶۷.....	۴-۷-۶-۴- ریز کردن مواد منفجره با استفاده از خردکن پرتابه‌ای.....
۱۶۸.....	۴-۸-۸- سایر روش‌های تولید مواد بسیار ریز.....
۱۶۸.....	۴-۸-۱- روش تبخیر با لیزر.....
۱۶۸.....	۴-۸-۲- روش پلاسمای امواج رادیویی.....
۱۶۹.....	۴-۸-۳- روش تجزیه حرارتی.....
۱۶۹.....	۴-۸-۴- روش‌های شیمیایی.....
۱۶۹.....	۴-۸-۵- روش لیزر پالس دار.....
۱۷۰.....	۴-۸-۶- روش چرخش مذاب.....
۱۷۱.....	۴-۸-۷- روش پاشش گاز.....
۱۷۱.....	۴-۸-۸- روش رسوب‌گذاری به‌وسیله جریان الکتریکی.....
۱۷۱.....	۴-۸-۹- روش پیرولیز پاششی.....
۱۷۲.....	۴-۸-۱۰- روش ته‌نشینی با خلأ.....
۱۷۲.....	۴-۸-۱۱- تبلور امولسیون.....
۱۷۳.....	۴-۸-۱۲- روش تبلور پاششی.....
۱۷۳.....	۴-۹-۹- تولید ترکیب‌های بسیار ریز با استفاده از روش سیالات فوق بحرانی.....
۱۷۵.....	۴-۹-۱- روش‌های سیال فوق بحرانی در مهندسی ذرات.....
۱۷۵.....	۴-۹-۲- فرایند RESS.....
۱۷۷.....	۴-۹-۲-۱- کاهش اندازه ذرات مواد منفجره با استفاده از فرایند RESS.....

۱۷۷.....	۴-۹-۳- روش ضدحلال گازی (GAS).....
۱۷۹.....	۴-۹-۴- فرایند پراکندگی افزایش یافته محلول به سیال.....
۱۸۰.....	۴-۹-۵- فرایند تولید ذره از محلول اشباع شده با گاز (PGSS).....
۱۸۱.....	۴-۹-۶- فرایند کاهش فشار از روی یک محلول مایع.....
۱۸۲.....	۴-۱۰-۱- تأثیر اندازه ذرات HMX بر خواص پیشرانده.....
۱۸۳.....	۴-۱۰-۱- اثر اندازه ذرات روی پایداری حرارتی.....
۱۸۴.....	۴-۱۰-۲- اثر مقدار HMX روی مقدار تنش، کرنش.....
۱۸۵.....	۴-۱۰-۳- اثر اندازه کریستال HMX روی مقدار تنش، کرنش.....
۱۸۶.....	۴-۱۰-۴- اثر شکل ذرات روی خواص مکانیکی.....
۱۸۷.....	۴-۱۰-۵- اثر اندازه ذرات روی خواص مکانیکی.....
۱۸۷.....	۴-۱۰-۶- اثر اندازه ذرات و مقدار نیتروآمین روی نرخ سوزش.....
۱۹۱.....	۴-۱۰-۷- اثر اندازه ذرات نیتروآمین روی نرخ سوزش پیشرانده تفنگی.....
۱۹۴.....	۴-۱۰-۸- اثر اندازه و شکل ذرات روی حساسیت به ضربه، اصطکاک و.....
۲۰۰.....	۴-۱۰-۹- اثر چگالی بلور روی حساسیت به شوک.....
۲۰۱.....	۴-۱۰-۱۰- اثر اندازه ذرات روی سرعت انفجار.....
۲۰۳.....	۴-۱۰-۱۱- نقش اندازه ذرات در فرایند تولید پیشرانده‌های نیتروآمینی.....
۲۰۹.....	فصل پنجم: پلی‌مورفیسم در مواد پراورزی.....
۲۰۹.....	۵-۱- مقدمه.....
۲۱۱.....	۵-۲- TNT.....
۲۱۲.....	۵-۳- RDX.....
۲۱۲.....	۵-۴- CL-20.....
۲۱۳.....	۵-۵- فرم‌های بلوری (صورت‌بندی‌های) HMX.....
۲۱۷.....	۵-۵-۱- شکل‌های بلوری کانفورمرهای HMX.....
۲۱۸.....	۵-۵-۲- خواص فیزیکی کانفورمرهای HMX.....

۲۱۹.....	۵-۳-۵- روش‌های تشخیص پلی‌مورف‌های HMX
۲۱۹.....	۵-۳-۱- استفاده از طیف‌بینی مادون قرمز (IR)
۲۲۱.....	۵-۳-۲- استفاده از طیف‌بینی رامان
۲۲۴.....	۵-۳-۳- استفاده از طیف‌بینی XRD
۲۲۸.....	۵-۳-۴- استفاده از تصویر میکروسکوپی
۲۲۹.....	۵-۳-۵- استفاده از آنالیز حرارتی
۲۲۹.....	۵-۴-۵- روش‌های تهیه کانفورمرهای مختلف HMX
۲۲۹.....	۵-۴-۱- روش‌های تهیه α -HMX
۲۳۲.....	۵-۴-۲- روش‌های تهیه β -HMX
۲۳۵.....	۵-۴-۳- روش‌های تهیه γ -HMX
۲۳۶.....	۵-۴-۴- روش تهیه δ -HMX
۲۳۷.....	۵-۶-۶- بررسی خواص ترمودینامیکی و دینامیکی HMX با ابعاد
۲۳۷.....	۵-۶-۱- خواص نانوذرات
۲۳۸.....	۵-۶-۱-۱- نانوخوشه‌ها
۲۳۹.....	۵-۶-۲- نانومحاسبات
۲۴۰.....	۵-۶-۱-۲- روش‌های نیمه تجربی اوربیتال مولکولی
۲۴۱.....	۵-۶-۲-۲- تعیین سطوح انرژی پتانسیل
۲۴۱.....	۵-۶-۳-۲- اندازه‌گیری طیف‌های ارتعاشی
۲۴۲.....	۵-۶-۳- شبیه‌سازی دینامیک مولکولی
۲۴۲.....	۵-۶-۱-۳- شرحی مختصر از شبیه‌سازی دینامیک مولکولی
۲۴۳.....	۵-۶-۲-۳- مدل‌سازی و شبیه‌سازی
۲۴۵.....	۵-۶-۳-۳- شبیه‌سازی، نظریه یا تجربه
۲۴۶.....	۵-۶-۳-۴- کوچک‌سازی و شبیه‌سازی
۲۴۷.....	۵-۶-۳-۵- سامانه‌های مدل پتانسیل‌های برهم‌کنش

۲۴۸.....	۵-۶-۳-۶- مدل برای برهم‌کنش مولکولی.....
۲۵۲.....	۵-۶-۳-۷- مدل برای برهم‌کنش‌های بین سامانه و محیط.....
۲۵۳.....	۵-۶-۳-۸- دینامیک مولکولی.....
۲۵۴.....	۵-۶-۳-۹- تعیین خواص ماکروسکوپی.....
۲۵۵.....	۵-۶-۳-۱۰- سامانه واحدها.....
۲۵۶.....	۵-۶-۴- مراحل و نتایج شبیه سازی HMX.....
۲۵۶.....	۵-۶-۵- تاریخچه محاسباتی HMX.....
۲۶۰.....	۵-۶-۴-۲- مراحل مختلف شبیه سازی.....
۲۷۰.....	۵-۶-۴-۳- نتایج شبیه‌سازی.....
۲۸۷.....	فصل ششم: کنترل کیفیت (آنالیز) HMX.....
۲۸۷.....	۶-۱- مقدمه.....
۲۸۷.....	۶-۲- مشخصات HMX درجه‌بندی نظامی.....
۲۸۸.....	۶-۳- استانداردهای HMX.....
۲۸۸.....	۶-۳-۱- استاندارد نظامی ارتش آمریکا.....
۲۸۹.....	۶-۳-۲- استاندارد نظامی سازمان پیمان آتلانتیک شمالی (ناتو).....
۲۹۰.....	۶-۳-۳- استاندارد نظامی وزارت دفاع انگلستان.....
۲۹۱.....	۶-۴- کنترل کیفیت HMX.....
۲۹۱.....	۶-۴-۱- اندازه‌گیری مقدار α -HMX و β -HMX.....
۲۹۲.....	۶-۴-۱-۱- استفاده از میکروسکوپ.....
۲۹۳.....	۶-۴-۱-۲- استفاده از طیف‌بینی مادون قرمز.....
۲۹۴.....	۶-۴-۱-۳- طیف‌بینی پراش پرتو ایکس (XRD).....
۲۹۵.....	۶-۴-۲- تعیین درصد RDX در حضور HMX.....
۲۹۷.....	۶-۴-۳- نقطه ذوب.....
۲۹۷.....	۶-۴-۴- درصد مواد غیرقابل حل.....

۲۹۷.....	۵-۴-۶- درصد مواد غیرقابل حل در استون.....
۲۹۸.....	۶-۴-۶- درصد ترکیب‌های معدنی.....
۲۹۸.....	۷-۴-۶- خصلت اسیدی.....
۲۹۹.....	۸-۴-۶- اندازه‌گیری مقدار HMX و RDX به روش H – NMR.....
۲۹۹.....	۹-۴-۶- دانه‌بندی HMX.....
۳۰۱.....	۱۰-۴-۶- حلالیت HMX.....
۳۰۱.....	۱۱-۴-۶- رفتار حرارتی HMX.....
۳۰۲.....	۱۲-۴-۶- تعیین درصد رطوبت HMX بلوری به‌وسیله کارل فیشر.....
۳۰۳.....	۵-۵-۶- انتخاب‌گری در حساسیت مواد منفجره بسیار ریز.....
۳۰۳.....	۱-۵-۶- آزمون سقوط وزنه.....
۳۰۴.....	۲-۵-۶- آزمون آغازگر Slapper.....
۳۰۵.....	۶-۶-۶- روش‌های تعیین اندازه‌ی ذره و توزیع اندازه ذره.....
۳۰۵.....	۱-۶-۶- اندازه‌ی ذرات.....
۳۰۶.....	۲-۶-۶- شکل ذرات.....
۳۰۷.....	۳-۶-۶- آنالیز اندازه‌ی ذرات مواد پرانرژی.....
۳۰۷.....	۴-۶-۶- توزیع اندازه‌ی ذرات.....
۳۰۸.....	۵-۶-۶- جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه.....
۳۱۰.....	۶-۶-۶- روش‌های اندازه‌گیری اندازه ذرات.....
۳۱۱.....	۱-۶-۶- آنالیز الک.....
۳۱۴.....	۲-۶-۶- آنالیز توزیع اندازه ذره در فاز مایع.....
۳۱۵.....	۳-۶-۶- میکروسکوپ الکترونی روبشی.....
۳۱۶.....	۴-۶-۶- روش پاشش به‌وسیله هوا درون ضدحلال.....
۳۱۷.....	۵-۶-۶- آنالیز ته‌نشین‌سازی.....
۳۱۸.....	۶-۶-۶- شمارش کالتر.....

۳۱۹.....	۶-۶-۷- روش طیف‌سنجی پراش نور لیزر.....
۳۲۷.....	فصل هفتم: کاربردهای اکتوژن.....
۳۲۷.....	۷-۱- مقدمه.....
۳۲۷.....	۷-۲- استفاده از HMX در پیش‌رانه‌های جامد.....
۳۲۸.....	۷-۳- استفاده از HMX در سرجنگی.....
۳۲۸.....	۷-۴- استفاده از HMX در فتیله انفجاری.....
۳۲۸.....	۷-۵- استفاده از HMX در تخریب بنا.....
۳۲۹.....	۷-۶- اکتشاف لرزه‌ای.....
۳۲۹.....	۷-۷- کاربرد HMX در حفاری چاه‌های نفت و گاز.....
۳۳۳.....	۷-۷-۱- مبانی خرج شکل یافته.....
۳۳۷.....	۷-۷-۲- مواد منفجره و حالت شروع انفجار.....
۳۳۹.....	۷-۷-۳- بررسی فیزیکی.....
۳۳۹.....	۷-۷-۴- مراحل جداسازی و شناسایی.....
۳۴۱.....	۷-۸- مواد منفجره پلاستیکی.....
۳۴۱.....	۷-۸-۱- مقدمه.....
۳۴۳.....	۷-۸-۲- مزایا و معایب PBXها در مقایسه با مواد منفجره پایه TNT.....
۳۴۵.....	۷-۸-۳- اجزاء تشکیل دهنده مواد منفجره پلاستیکی.....
۳۴۵.....	۷-۸-۴- مواد منفجره.....
۳۴۶.....	۷-۸-۵- مواد منفجره پلاستیکی پایه HMX.....
۳۴۶.....	۷-۸-۵-۱-۳- HTA.....
۳۴۶.....	۷-۸-۵-۲-۴- HTA.....
۳۴۶.....	۷-۸-۵-۳- PBXN.....
۳۴۷.....	۷-۸-۵-۴- سیلگارد/ HMX.....
۳۴۸.....	۷-۸-۵-۵- تفلون - ویتون/ HMX.....

۳۴۸.....	HMX/EVA-۶-۵-۸-۷
۳۴۹.....	اکتول-۷-۵-۸-۷
۳۴۹.....	PBX-9501-۸-۵-۸-۷
۳۵۰.....	PBX-9011-۹-۵-۸-۷
۳۵۱.....	PBXW-113-۱۰-۵-۸-۷
۳۵۱.....	PBXW-114(Q)-۱۱-۵-۸-۷
۳۵۱.....	LX-04-۱۲-۵-۸-۷
۳۵۱.....	LX-09-0-۱۳-۵-۸-۷
۳۵۲.....	LX-10-1-۱۴-۵-۸-۷
۳۵۲.....	LX-14-۱۵-۵-۸-۷
۳۵۲.....	HMX/TMETN/NC/DPA-۱۶-۵-۸-۷
۳۵۲.....	PBXN-110-۱۷-۵-۸-۷
۳۵۳.....	RX-08-EL-۱۸-۵-۸-۷
۳۵۳.....	EDC-37-۱۹-۵-۸-۷
۳۵۳.....	PBX-9404-۲۰-۵-۸-۷
۳۵۴.....	مواد منفجره پلاستیکی B 3021 و B 3027، B 2214-۲۱-۵-۸-۷
۳۵۴.....	HMX/Kel-F-800-۲۲-۵-۸-۷
۳۵۴.....	PBXN-2-۲۳-۵-۸-۷
۳۵۹.....	ارزیابی خواص مواد منفجره پلاستیکی-۶-۸-۷
۳۶۱.....	اثر چگالی بر حساسیت PBX ها-۱-۶-۸-۷
۳۷۲.....	اثر اندازه و توزیع ذرات ماده منفجره بر PBX ها-۲-۶-۸-۷
۳۷۸.....	اثر اندازه ذره روی حساسیت به ضربه دانه‌های بلوری-۳-۶-۸-۷

پیشگفتار

اندیشه مواد منفجره، برای اولین بار در قرن هفتم به وسیله چینی ها به دنیا عرضه شد و اولین ماده منفجره شناخته شده پودر سیاه بود (اغلب به عنوان باروت نیز شناخته می شود) که ترکیبی از زغال چوب¹، سولفور و پتاسیم نترات می باشد و چینی ها از آن به عنوان یک ماده منفجره پیشرانه و همچنین برای آتش بازی ها استفاده می کردند. در ادامه با پیشرفت نیتروسولوز (NC) و نیترو گلیسرین (NG) در اروپا، طبقه جدیدی از مواد منفجره یعنی مواد منفجره با قدرت کمتر وارد زندگی شدند. از آنجا که این دسته جدید از مواد منفجره، به آرامی در حالتی کنترل شده می سوزند و حجم وسیعی از گازهای داغ را که می تواند یک پرتابه را به جلو براند تولید می کنند، به عنوان پیشرانه ها نامیده شدند. اکتشاف مواد منفجره قوی از قبیل پیکریک اسید، تری نیترو تولوئن (TNT)، پنتااریتول ترا نترات (PETN)، سیکلو تری متیلن تری نیترو آمین (RDX)، سیکلو تترا متیلن تترا نیترو آمین (HMX)، هگز نیترو هگزا آزا ایزوورتریتان (CL-20) و غیره که قدرت بسیار بالایی دارند؛ اما به محرک های گوناگون (گرما، ضربه، اصطکاک و جرقه) به نسبت حساسند، این امر سبب می شود تا از این مواد به عنوان ماده منفجره پرکننده در

1- Charcoal

بمب‌ها، پوکه‌ها، سرجنگی‌ها و غیره استفاده شود. به‌طور مشابه با مشارکت ماده اصلی باروت و به‌منظور تأمین نیازهای نظامی برای اهداف خاص از قبیل افروزش، به تأخیرافتادگی، دودزایی، ایجاد صدا و آتش‌افروزی و غیره فرمولاسیون‌هایی شامل؛ سوخت‌ها، اکسیدکننده‌ها، بایندها به همراه افزودنی‌ها توسعه یافتند و با نام پیروتکنیک‌ها طبقه‌بندی شدند.

مواد پرانرژی در آغاز جنگ‌ها از یک سو به‌عنوان ترکیب‌های ویرانگر و از سوی دیگر، مواد بسیار مفید و کمکی تلقی می‌شوند؛ چرا که تأثیرات فراوانی را در اقتصاد و صنعت داشته و کاربردهای بی‌حد و حصری را در ابعاد زندگی برعهده دارند. کتاب‌های متعددی وجود دارد که به مواد منفجره، پیشران‌ها و پیروتکنیک‌ها اختصاص یافته‌اند، اما اکثر آن‌ها هم دانش‌شان را عمومی مطرح کرده‌اند و هم روی بعضی موضوعات خاص متمرکز شده‌اند. از طرف دیگر هیچ یک از این کتاب‌ها با جزئیات آخرین پیشرفت‌ها سروکار ندارند. با اینکه تعدادی از مقاله‌های مرور بسیار خوبی برای پر کردن این خلأ در زمینه مواد پرانرژی منتشر شده‌اند، اما هنوز در نوشته‌های مربوط به این موضوع متنی تنها در دسترس نمی‌باشد که پیشرفت‌های اخیر و گرایش‌های آینده در رشته مواد پرانرژی را در برگیرد.

اکتوژن، قوی‌ترین ماده منفجره صنعتی است که کاربردهای بسیار فراوانی دارد. این کتاب که با عنوان **شیمی اکتوژن (HMX) (خواص، کاربردها و روش‌های ساخت)** نام‌گذاری شده، متنی است که تمام خواص، کاربردها، روش‌های تهیه، فرمولاسیون‌ها و روش‌های آنالیز **اکتوژن** را در یک جلد پوشش می‌دهد.

فعالیت‌های انجام گرفته در این کتاب عبارتند از:

- ✓ گردآوری اطلاعات منتشر شده؛ از ماده منفجره اکتوژن که به شکل مقاله‌های تحقیقاتی/مروری اما به‌طور پراکنده در نوشته‌های ۳۰ سال اخیر گزارش شده‌اند.

- ✓ کشف ظرفیت‌های مربوط به این ماده و کاربردهای متنوع آنکه در قالب چندین پروژه کارشناسی ارشد مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفت.
- ✓ شناسایی محیط‌های مطمئن برای تحقیق بیشتر در این حوزه.

بنابراین اطلاعات مربوط به ماده منفجره اکتوژن که به صورت پراکنده در هر بخش از نوشته‌های ۳۰ سال اخیر گزارش شده، برای تحقیقات به آسانی در یک کتاب در دسترس خواهد بود. گذشته از این سطح علم شیمی که در این کتاب نگارش یافته قابل مقایسه با بسیاری از کتاب‌های تخصصی که جنبه‌های گوناگونی را در بر می‌گیرند و نگاه بسیار موشکافانه‌ای در مواد پرانرژی دارند، نیست.

این کتاب در ۷ فصل به شرح و بیان موضوعات: معرفی و بررسی خواص اکتوژن، پیشرانه‌هایی بر پایه اکتوژن، مواد منفجره پلاستیکی بر پایه اکتوژن، روش‌های مختلف سنتز اکتوژن و حدواسط‌های آن، چندشکلی^۱ اکتوژن، تبلور و کنترل کیفیت و آنالیز اکتوژن پرداخته است. به علاوه این کتاب شامل یک کتاب‌شناسی جامع در پایان هر فصل می‌باشد (مجموع منابع ذکر شده بیش از ۱۵۰ مورد می‌باشد).

امیدواریم این کتاب مورد توجه همه افرادی که با ماده منفجره اکتوژن سروکار داشته و با آن کار می‌کنند، صرف نظر از پیش زمینه‌ای که دارند به عنوان نمونه، آزمایشگاه‌های تحقیق و توسعه (R&D)، دانشگاه‌ها و انجمن‌ها، موسسه‌های تولیدی، مؤسسه‌های تضمین کیفیت، امنیت کشوری، آزمایشگاه‌های قانونی، صنایع شیمیایی و نیروهای مسلح (ارتش، نیروی دریایی و هوایی)، قرار گیرد. همچنین این کتاب برای سازمان‌هایی که با تولید تجاری مواد

1- Polymorphism

منفجره و صنایع شیمیایی مرتبط و با آن سروکار دارند، کاربرد بسیار خوبی خواهد داشت. در مجموع تلاش شده در حین نگارش این جلد، نگرش تازه‌ای به موضوع داشته باشیم و بیشترین سعی‌مان را برای جمع‌آوری تمام اطلاعات مربوط به ماده منفجره انجام اکتوژن داده‌ایم تا اینکه بتواند مورد علاقه سازمان‌های نظامی و همچنین کاربرهای تجاری قرار گیرد. با این حال، این امکان وجود دارد که برخی از نکات حائز اهمیت و مرتبط با مواد پرانرژی ناخواسته از چشم دورافتاده باشد که عذرخواهی خود را ابراز داشته و از تمامی خوانندگان تقاضا داریم که نسبت به این چنین چشم پوشی‌ها، ما یا ناشر را مطلع کرده تا در ویرایش‌های بعدی مورد توجه قرار گیرد.

فصل اول

معرفی و ساختار اکتوژن

شیمی اکتوژن (خواص، کاربردها و روش‌های تهیه)

فصل اول: معرفی و ساختار اکتوژن

۱-۱- مبانی مواد منفجره

۱-۱-۱- مفهوم انفجار

در حالت کلی، انفجار به معنای فشار، دما، سرعت بالا و موج شوک قوی می‌باشد. همچنین انفجار به فضای انبساط ناگهانی گاز بر حجمی به مراتب بزرگ‌تر از حجم اولیه‌اش که با ارتعاش مکانیکی و صدا همراه است، گویند. پس در یک انفجار مقادیر بیان‌کننده حالت سامانه به‌صورت پله‌ای در یک زمان و فضای کوتاه به شدت افزایش پیدا می‌کنند [۱-۵]. انفجارها به سه دسته زیر تقسیم می‌شود:

۱. انفجار فیزیکی

۲. انفجار هسته‌ای

۳. انفجار شیمیایی

انفجار فیزیکی یک فرایند ماکروسکوپی بوده که در آن انرژی به واسطه‌ی انرژی مکانیکی که بین مولکول‌های جسم ذخیره شده است، آزاد می‌شود. انفجار هسته‌ای یک فرایند میکروسکوپی بوده که در آن انرژی آزاد شده به‌طور اساسی از آزاد شدن انرژی بین ذرات بنیادی (نوترون و الکترون) حاصل می‌شود. انفجار هسته‌ای ناشی از آزاد شدن

ناگهانی مقدار بسیار زیادی حرارت در اثر فرایند شکافت^۱ یا جوش^۲ می‌باشد. انفجار شیمیایی که در اینجا مورد نظر ما می‌باشد، فرایندی است که طی آن، انرژی از جدا شدن اتم‌ها از مولکول‌های ماده منفجره و ایجاد مولکول‌های جدید ایجاد می‌شود. انفجار شیمیایی واکنش‌های شیمیایی بسیار سریع گرمایی است که باعث ایجاد حرارت و گاز می‌شود [۲ و ۳].

۱-۱-۲- ماده منفجره

به ساده‌ترین بیان، ماده منفجره، ماده‌ای است که در اثر برخورد، ضربه، شوک، جرقه، شعله، حرارت یا هرگونه استفاده ساده پالس انرژی، تحت واکنش شیمیایی سریع قرار گیرد و مقدار زیادی حرارت و فشار بر اطراف وارد کند. بخش بزرگی از مواد منفجره هنگام انفجار، فرآورده‌های گازی آزاد می‌کنند، اما این شرط ضروری نیست، مانند برخی از استیلیدهای فلزی. بسیاری از مواد منفجره آلی حاوی هسته‌های کربنی هستند که با گروه‌های اکسیدکننده مانند نیترو، نیتروآمین، نترات استر و غیره، از طریق پیوندهای کووالانسی به هم متصل شده‌اند. این گروه‌ها حاوی پیوندهای N-N و N-O و دارای دو یا چند اتم هستند که با الکترون‌های غیرپیوندی موجود در اوربیتال‌های P، پیوند کووالانسی تشکیل داده‌اند و باعث دافعه الکتروستاتیک بین اتم‌ها می‌شوند. در نتیجه، بسیاری از مواد منفجره گرمای تشکیل مثبت دارند. در انفجار، واکنش اکسایش - کاهش داخلی رخ می‌دهد و این پیوندها شکسته می‌شوند و محصول‌های گازی مانند CO_2 و N_2 تولید می‌کنند، در حالی که الکترون‌های غیرپیوندی در پیوندهای π پایدار گیر می‌افتند. در مواد منفجره سه نوع واکنش شیمیایی اتفاق می‌افتد:

۱. تجزیه حرارتی

1- Fission
2- Fusion

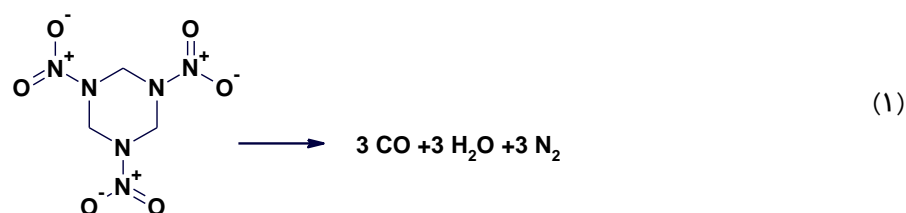
۲. سوختن سریع^۱

۳. انفجار^۲

تجزیه حرارتی در تمام دماها اتفاق می‌افتد و به مرور زمان باعث تخریب کل ماده منفجره شده و به‌طور مستقیم تابع درجه حرارت می‌باشد.

سوختن یک ماده منفجره که بیشتر در ترکیبات پیروتکنیک^۳ و پیشرانه^۴ اتفاق می‌افتد، به ایجاد حرارت زیاد و گاز منجر می‌شود، سوختن یک ماده منفجره به شرایط محیطی بستگی زیادی دارد. سرعت سوختن در حد چند صد متر بر ثانیه می‌باشد، ولی در انفجار که سریع‌ترین حالت آزاد شدن انرژی است سرعت سوزش در حد کیلومتر بر ثانیه می‌باشد.

اکثر موادی که به‌عنوان مواد منفجره شیمیایی طبقه‌بندی می‌شوند، به‌طور معمول حاوی اکسیژن، نیتروژن و عناصری که قابلیت اکسید شدن را داشته باشند، مانند کربن و هیدروژن، می‌باشند. در این ترکیب‌ها اکسیژن به نیتروژن مانند گروه‌های، NO، NO₂ و NO₃ متصل است. استثنای این قاعده آزیدها، مانند سرب آزید (PbN₆) و ترکیب‌های نیتروژن‌دار مانند: تری یدید نیتروژن (NI₃) و آزا ایمید (NH₃NI₃) می‌باشند که در این ترکیب‌ها اکسیژنی وجود ندارد. در جریان یک واکنش شیمیایی مولکول‌های اکسیژن و نیتروژن جدا شده و سپس با اجزای سوخت ترکیب می‌شود (واکنش (۱)).



-
- 1- Deflagration
 - 2- Detonation
 - 3- Low explosive
 - 4- Propellant

در اثر این فعال شدن مواد پراثری، مقدار زیادی انرژی گازهای داغ آزاد می‌شود، که در حالت ترمودینامیکی گرمای تشکیل مثبتی دارند و این دلیل اصلی فعالیت بالای آن‌ها می‌باشد؛ زیرا از لحاظ ترمودینامیکی هرچه مواد گرمای تشکیل مثبت‌تری داشته باشند، ناپایداری و در نتیجه فعال‌تر هستند. این مواد به مولکول‌های کوچک‌تر و پایداری‌تر تجزیه شده و انرژی بالایی تولید می‌کنند. در بعضی حالت‌ها، آزاد شدن انرژی کششی^۱ موجود در حلقه‌های تحت فشار (CL-20، HMX، RDX)، عامل انفجار می‌باشد [۱ و ۲ و ۴].

۱-۲-۱-۱- طبقه بندی مواد منفجره

تمام مواد منفجره می‌توانند به عنوان مواد منفجره قوی یا ضعیف طبقه‌بندی شوند. مواد منفجره ضعیف یا پیشرا نه‌ها درحالی‌که حاوی اکسیژن مورد نیاز برای احتراق خود هستند، تحریک‌پذیرترین مواد منفجره‌ای هستند که با سازوکار سوختن سطحی تحت سوزش سریع قرار می‌گیرند. زمانی که مواد منفجره ضعیف محصور شوند، می‌توانند منفجر شوند که این در نتیجه افزایش فشار حاصل از تولید گاز می‌باشد. برخی مواد منفجره ضعیف محصور شده، می‌توانند با شوک ماده منفجره دیگر منفجر شوند. مواد منفجره ضعیف شامل موادی مثل باروت، باروت بدون دود و پیشرا نه‌های اسلحه‌اند. از طرف دیگر، مواد منفجره قوی، نیازی به محصور کردن برای انفجار ندارند و واکنش شیمیایی آن‌ها بسیار سریع تحت پدیده فیزیکی انفجار قرار می‌گیرد. در این مواد، واکنش شیمیایی به دنبال موج شوک پرفشار است که با عبور از مواد منفجره، باعث انتشار واکنش می‌شود. مواد منفجره قوی به‌طور معمول با سرعتی بین ۹۵۰۰-۵۵۰۰ متر بر ثانیه منفجر می‌شوند و این سرعت انفجار^۲ (VOD) برای مقایسه عملکرد مواد منفجره مختلف استفاده می‌شود. مواد منفجره قوی شامل ترکیباتی مثل TNT، NG، RDX و HMX و CL-20 هستند [۴-۶].

راه دیگر طبقه‌بندی مواد منفجره، میزان حساسیت آن‌ها به محرک‌های مکانیکی یا

1- Strain Energy

2- Velocity of detonation

گرمایی است. حساسیت مواد منفجره به محرک دامنه وسیعی دارد، اما موادی که به آسانی با محرک‌های مکانیکی ضعیف تا متوسط مکانیکی منفجر می‌شوند، "مواد منفجره اولیه" نامیده می‌شوند، در حالی که مواد منفجره‌ای که به شوک مواد منفجره یا ایمپالس^۱ پرانرژی نیاز دارند، "مواد منفجره ثانویه"^۲ یا به سادگی "مواد منفجره قوی"^۳ نامیده می‌شوند. مواد منفجره اولیه به طور معمول با حرارت منفجر می‌شوند، در حالی که برخی مواد منفجره ثانویه به آسانی در اندازه کم می‌سوزند. آزمون‌های متعددی برای تعیین حساسیت مواد منفجره، به محرک‌های گرمایی و مکانیکی طراحی شده‌اند. برخی از مواد در مرز بین مواد منفجره اولیه و ثانویه‌اند. مواد منفجره اولیه که با نام آغازگر نیز شناخته شده‌اند، براساس کارایی‌شان در انفجار سایر مواد منفجره طبقه‌بندی شده‌اند. برخی مواد منفجره اولیه آغازگر ضعیفی هستند، در حالی که سایر مواد قوی هستند و به عنوان چاشنی استفاده می‌شوند. در واقع متداول‌ترین روش طبقه‌بندی مواد منفجره، طبقه‌بندی بر اساس نوع کاربرد و نیز ماهیت آن‌ها می‌باشد که در زیر مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۱- بر اساس استفاده و نوع عملکرد، مواد منفجره به دو دسته مواد منفجره اولیه و مواد منفجره ثانویه تقسیم‌بندی می‌شوند. جدول ۱-۱ مقایسه حساسیت مواد منفجره اولیه و ثانویه را نشان می‌دهد.

۲- بر اساس طبیعت و ماهیت شیمیایی، مواد منفجره به دو دسته مواد منفجره خالص (TNT، RDX، HMX، CL-20 و غیره) و مواد منفجره مخلوط مانند باروت سیاه تقسیم‌بندی می‌شوند.

با به کارگیری این روش، مواد منفجره را می‌توان به سه دسته مواد منفجره اولیه^۴، مواد منفجره ثانویه^۵ و پیش‌ران‌ها دسته‌بندی کرد.

-
- 1- Impulse
 - 2- Secondary explosive
 - 3- High explosives
 - 4- Primary explosives
 - 5- Secondary explosives

یکی از پارامترهای مهم و مؤثر در قدرت انفجاری یک ماده چگالی آن می‌باشد. چگالی بالاتر ماده، در عملکرد مواد پرانرژی نقش به سزایی دارد. در جدول (۱-۲) مقایسه‌ای بین چگالی متداول‌ترین مواد منفجره نشان داده شده است [۱ و ۴ و ۷].

جدول ۱-۱- حساسیت به ضربه و اصطکاک مواد منفجره اولیه و ثانویه [۴ و ۷].

مواد		حساسیت به اصطکاک (N)	حساسیت به ضربه (Nm)
مواد منفجره اولیه	تترازین	۸	۱-۲
	جیوه فولمینات	۳-۵	۱-۲
	سرب استیفات	۱/۵	۲/۵-۵
	سرب آزید	۰/۱-۱	۲/۵-۴
مواد		حساسیت به اصطکاک (N)	حساسیت به ضربه (Nm)
مواد منفجره ثانویه	آمونیم نترات	> ۳۵۳	۵۰
	نیتروسولوز (NC)	> ۳۵۳	۳
	نیتروگلیسرین (NG)	> ۳۵۳	۰/۲
	نیتروگوآنیدین (NQ)	> ۳۵۳	> ۴۹
	β -HMX	۱۲۰	۷/۴
	RDX	۱۲۰	۷/۵
	CL-20	> ۱۲۰	۵
	TNT	> ۳۵۳	۱۵
	PETN	۶۰	۳
	HNS	۲۴۰	۵
	Tetryl	> ۳۵۳	۳
	TATB	> ۳۵۳	۵۰

جدول ۲-۱- مقایسه چگالی مواد منفجره [۵].

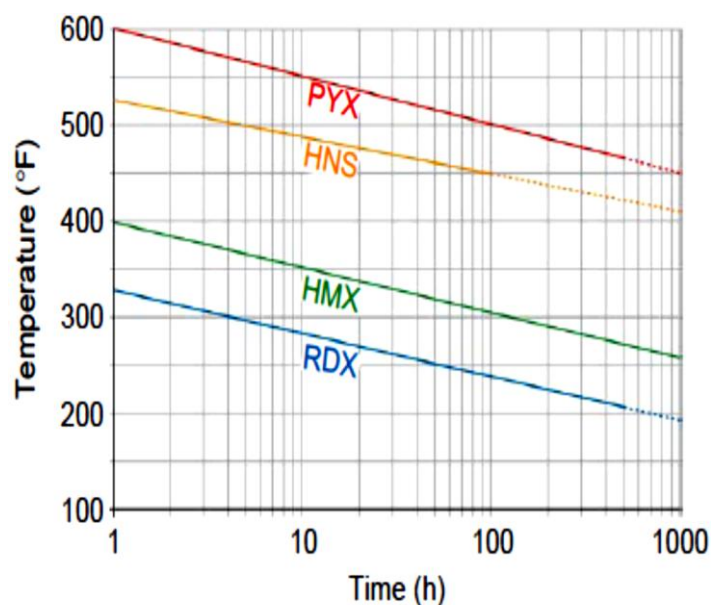
مواد منفجره	TNT	RDX	HNS	PYX	HMX	TATB	TEX	ϵ -CL-20
چگالی (g/cm^3)	۱/۶۴	۱/۷۰	۱/۷۴	۱/۷۵	۱/۸۹	۱/۹۴	۱/۹۹	۲/۰۲

از دیگر پارامتر مهم مواد منفجره‌ای که در حفاری چاه‌های نفت به کار گرفته می‌شوند، پایداری حرارتی و به عبارتی نقطه ذوب می‌باشد. در شکل (۱-۱)، مقایسه‌ای بین نقطه ذوب مواد منفجره نمایش داده شده است [۳].

جدول ۳-۱- مقایسه نقطه ذوب مواد منفجره [۳].

مواد منفجره	TNT	RDX	HNS	PYX	HMX	TATB	CL-20
نقطه ذوب ($^{\circ}\text{C}$)	۸۱	۲۰۵	۳۱۶	۴۶۰	۲۷۵-۲۸۵	۳۵۰	۲۲۸

در بیشتر موارد، پایداری حرارتی به صورت منحنی‌های دما-زمان مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرند [۵].



شکل ۱-۱- پایداری حرارتی مواد منفجره [۵].

۱-۱-۲-۱-۱- مواد منفجره اولیه

اختلاف مواد منفجره اولیه (به عنوان مواد منفجره قوی اولیه نیز شناخته شده‌اند) با مواد منفجره ثانویه در این است که آن‌ها یک انتقال خیلی سریع از سوختن به انفجار اصلی می‌کنند و همچنین توانایی انتقال انفجار به مواد منفجره با حساسیت کمتر را دارند. مواد منفجره اولیه، وقتی که در معرض حرارت یا شوک قرار می‌گیرند، منفجر می‌شوند. در انفجار، مولکول‌های ماده منفجره تجزیه شده و مقدار فوق‌العاده زیادی حرارت یا شوک تولید می‌کنند. این عمل به نوبه خود، انفجار در ماده منفجره پایدارتر دوم را آغاز می‌کند. به این دلیل از آن‌ها در ابزارهای آغازکننده استفاده می‌شود. مواد منفجره اولیه از نظر حساسیت به حرارت و مقدار حرارت تولید شده و در نتیجه انفجار، تفاوت زیادی دارند. حرارت و شوک انفجار می‌تواند متغیر باشد، ولی با حرارت و شوک مواد منفجره ثانویه قابل مقایسه است. سرعت انفجار آن‌ها در محدوده $5500-3500 \text{ ms}^{-1}$ است. مواد منفجره اولیه حساسیت بالایی نسبت به آغازگری با شوک، اصطکاک، جرقه الکتریکی و یا دماهای بالا نشان می‌دهند و به صورت محصور و محصور نشده، منفجر می‌شوند. مواد منفجره اولیه‌ی شاخصی که به طور گسترده استفاده می‌شوند، عبارتند از: سرب آزید $(\text{Pb}(\text{N}_3)_2)$ ، سرب استیفات (تری‌نیتروزرورسینات)، منونیتروزرورسینات (LMNR)، پتاسیم دی‌نیتروبنزو فوران (KDNBF)، باریم استیفات و باریم پرکلرات. سایر مواد منفجره نوع اول که اغلب امروزه مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، نقره آزید (AgN_3) ، پتاسیم کلرات و جیوه فولمینات $(\text{Hg}(\text{C}\equiv\text{NO})_2)$ می‌باشند.

۱-۱-۲-۱-۲- مواد منفجره ثانویه

مواد منفجره ثانویه که به مواد منفجره قوی^۱ معروف می‌باشند، به راحتی مواد منفجره اولیه به وسیله حرارت و شوک منفجر نمی‌شوند، بنابراین حساسیت کمتر و قدرت بیشتری از مواد منفجره اولیه دارند. این مواد به وسیله شوک انفجاری حاصل از مواد منفجره اولیه منفجر می‌شوند.



ISBN 978-600-5665-74-1



9 786005 665741